



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

KOMPENSOINTI JA SÄHKÖVERKON HÄI- RIÖT

Juho Saari



Opinnäytetyö
Huhtikuu 2016
Talotekniikka
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikka
Sähköinen talotekniikka

JUHO SAARI

Kompensointi ja sähköverkon häiriöt

Opinnäytetyö 40 sivua
Huhtikuu 2016

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä sähköverkon häiriöihin ja kompensoinnin tarpeeseen Alavuden Lämpö Oy:n lämpölaitoksella Alavudella. Kesätöiden yhteydessä opinnäytetyön aihetta miettiessä ilmeni, että lämpölaitoksella ei ole lainkaan loistehonkompensointilaitteistoa, siitä ideasta lähti opinnäytetyön hahmottaminen. Työ lähti liikkeelle verkostoaalysaattorilla tehdyistä mittauksista, joista saatiin loistehon tarve ja havaittiin myös sähköverkon häiriöpitoisuus. Sähkölaitoksen kulutustietoseurannasta pystyi määrittämään kesäajan kulutusta. Kun kyseessä on lämpölaitos erityisesti kesäajan kulutustiedot ovat tärkeitä.

Kun Laitteiston valintaan vaikuttavat mittaukset saatiin suoritettua ja kulutustietoseurannan tiedot selville, voitiin laitteisto valita. Kompensointilaitteistoksi valittiin estokelaparisto. Kohteessa on paljon sähkömoottorikuormaa, jota ohjataan taajuusmuuttajilla. Taajuusmuuttajat aiheuttavat yliaaltovirtoja joita mittauksia tehdessä havaittiin. Verkon viidennen yliaallon osuus oli suurin, mutta aseteltaessa estokelaparisto alemmalle taajuudelle, se ei aiheuta haittaa sähköverkolle.

Mittausten perusteella valittu kompensointilaitteisto esiteltiin työn tilaajalle. Takaisinmaksuaika liittyy oleellisesti laitteiston hankintaan, työhön sisältyy myös arvio siitä. Takaisinmaksuajan perusteella investointi on kannattava. Tulevaisuudessa sähköverkoissa häiriöpitoisuudet vain lisääntyvät. Suunniteltaessa uutta kompensointiratkaisua täytyy ottaa huomioon verkkoon liitettävät laitteet. Monet aiheuttavat häiriöitä ja ne täytyy huomioida valittaessa kompensointilaitteistoa.

Asiasanat: kompensointi, yliaaltovirtoja, häiriöitä

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Building Services Engineering
Electrical services

JUHO SAARI:
Compensating and electricity grid disturbances

Bachelor's thesis 40 pages
April 2016

The purpose of this study was to analyse the power grid disturbances and compensation needed at Alavuden Lämpö Company's heating plant in Alavus. The company has no equipment for compensation, this gave the idea for this work.

The data were collected by a network analyzer which measured the need for compensation and showed the amount of disturbance in the network. Also the consumption data of the summer period were collected.

Based on the measurements the chosen compensating unit was presented to the customer. Payback time linked to purchase of equipment, thesis contain an evaluation of it PFC compensation systems. Payback time an investment is worthwhile.

In future, power grids interference levels will continue to rise. When designing a new compensation devices connected to mains must be taken into account as they are likely to cause interference.

Key words: compensation, PFC compensation systems, power grids

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	TEHOT.....	8
2.1	Loisteho	8
2.2	Pätöteho	9
2.3	Näennäisteho.....	9
3	KOMPENSOINTI.....	11
3.1	Ylikompensointi ja alikompensointi	11
3.2	Kompensointitavat	12
3.2.1	Laitekohtainen kompensointi	12
3.2.2	Ryhmäkompensointi	12
3.2.3	Keskitetty kompensointi	13
3.3	Kompensointilaitteistot ja häiriösuodattimet	14
3.3.1	Automaattinen kompensointiparisto	14
3.3.2	Estokelaparisto	15
3.3.3	Yliaaltosuodatin	16
4	KOMPENSOINNIN EDUT	18
4.1	Taloudelliset edut.....	18
4.2	Liittymän kapasiteetin kasvaminen.....	18
4.3	Verkon siirtokapasiteetti	18
4.4	Jännitteen alenema	19
5	SÄHKÖVERKON HÄIRIÖT	20
5.1	Sähkön laatu.....	20
5.2	Käynnistysvirrat.....	20
5.3	Nollajohtimen kuormittuminen.....	21
5.4	Epäsymmetrinen kuormitus	21
5.5	Sähkömagneettiset häiriöt.....	22
5.6	Harmoniset yliaallot.....	22
5.7	Resonanssi	24
6	MITTAUKSET	26
6.1	Mittari	26
6.2	Mittaustoiminnot.....	27
6.3	Kuormitus	27
6.4	Mittauspaikka.....	28
6.5	Pätö- ja loistehon mittaus.....	29
6.6	Harmoniset yliaallot.....	32
7	KOMPENSOINTILAITTEISTON MITOITUS	35

7.1 Tarvittavat lähtötiedot.....	35
7.2 Lämpölaitoksen kompensointi.....	35
7.3 Kompensointilaitteiston valinta	36
7.4 Takaisinmaksuaika.....	36
8 POHDINTA.....	38
LÄHTEET.....	39

LYHENTEET JA TERMIT

CF	Huippukerroin
$\cos \varphi$	Tehokerroin
f	Taajuus, Hz
I	Virta, A
I_P	Pätövirta, A
I_q	Loisvirta, A
P	Pätöteho (W)
Q	Loisteho
R	Resistanssi, Ω
S	Näennäisteho
$\sin \varphi$	Vaihe-ero
THD	Harmoninen kokonaissärö, %
U	Jännite, V
X	Reaktanssi, Ω

1 JOHDANTO

Nykyään on paljon laitteita, jotka tuottavat loistehoa ja sähköverkkoon erilaisia häiriötä. Tässä opinnäytetyössä perehdytään loistehon kompensointiin ja sähköverkon häiriöihin. Työssä käsitellään teoriassa loistehon muodostumista ja sähköverkonhäiriöitä. Opinnäytetyössä esitellään erilaisia kompensointiratkaisuja, joilla loistehon kompensointi voidaan toteuttaa.

Kompensoinnin etuja on myös esitelty tässä työssä. Niitä ovat taloudelliset edut, liittymän kapasiteetin kasvaminen, verkon siirtokapasiteetin kasvaminen ja jännitteenaleneman pieneneminen. Näiden etujen perusteella kompensointilaitteiston hankintaa kannattaa harkita.

Loisteho ja sähköverkonhäiriö mittauksia tehtiin Alavuden Lämpö Oy:n lämpölaitoksella. Mittauksissa kartoitettiin tarvittavia asioita kompensointilaitteiston hankintaa varten. Kohteessa on paljon kuormitusvaihteluja, jotka täytyy ottaa huomioon. Kuormitus muodostuu pääosin sähkömoottoreista, niitä ohjaavat taajuusmuuttajat. Taajuusmuuttajien aiheuttaessa häiriöitä sähköverkkoon täytyy ne ottaa huomioon valittaessa kompensointilaitteistoa.

Lämpölaitokselle valittiin sinne parhaiten soveltuva laitteisto. Kohteen haasteena oli ke-sääjan pieni kuormitus joka vaikutti laitteiston mitoitukseen. Valittaessa täytyi ottaa huomioon pienimmän kompensointiportaan suuruus. Ylikompensointi ei ole kannattavaa missään tilanteessa.

Työssä on kompensointilaitteistolle ehdotelma ja kustannusarvio. Kustannus arvioon sisältyy laitteisto ja asennus. Laitteistolle on laskettu myös takaisinmaksuaika joka vaikuttaa paljon investointipäätökseen. Takaisinmaksuajan ylittäessä laitteiston tekninen käyttöikä investointi ei ole kannattava.

2 TEHOT

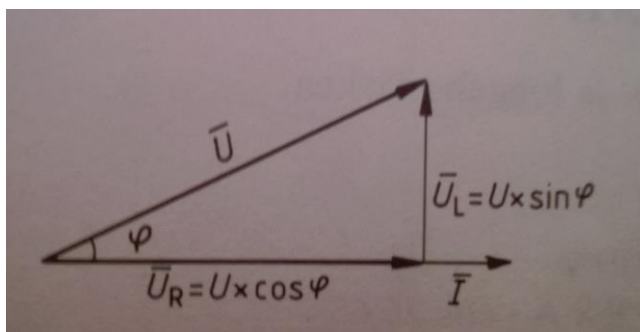
2.1 Loisteho

Eräät sähkölaitteet tarvitsevat toimiakseen pätötehon (P) lisäksi myös loistehoa (Q). Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi moottorit, purkauslamput ja muuntajat. Pätöteho ja perustaajuinen loisteho yhdessä muodostavat näennäistehon (S). Sähköverkko täytyy mitoittaa kokonaisvirran mukaan, siihen sisältyy kaapelit, muuntajat ja kytkinlaitteet. Loistehon tarve lisää virtaräsitystä ja näin ollen komponentit voivat lämmitä liikaa. (ST-kortti 52.15)

Käämin magneettikentän synnyttämiseen tarvitaan loistehoa eli reaktiivitehoa. Kun käämiin kulkeva vaihtovirta suurenee huippuarvoonsa, silloin käämin magneettikenttään alkaa varastoitumaan energiaa. Vaihtovirran pienetessä nollassa, magneettikentän virran ollessa huippuarvossa, varautunut energia virtaa takaisin sähköverkkoon. Loisteho ei ole työtä tekevää tehoa, vaan sykkii vaihtovirran mukaan sähköverkossa. (Teollisuuden sähköasennukset 2004, 17.)

Loistehon yksikkö on vari. Näin se erotetaan pätötehosta jonka yksikkö on watti, eli tehosta joka tekee työtä. Vari tarkoittaa myös reaktiivista tehoa, sillä tarkoitetaan reaktanssin magneetti- tai sähkökentän ylläpitämiseen tarvittavaa tehoa. (Yleisjakson sähkötekniikkaa 1986, 339.)

Loistehon impedanssin määrittäminen tehdään samalla tavalla kuin pätötehokin. Jännitteen vaikutus induktanssiin tai kapasitanssiin lasketaan. Jännitekolmiosta voi havaita, että se on $U \cdot \sin\varphi$. Kulman kasvaessa huomataan että loistehon suuruus muuttuu. (Yleisjakson sähkötekniikkaa 1986, 339.)



KUVA 1. Jännitekolmio (Yleisjakson sähkötekniikkaa 1986, 339.)

Kun tämä sijoitetaan loistehon yhtälöön, saadaan loistehon yleisesti käytetty muoto

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (1)$$

2.2 Pätöteho

Pätöteholla tarkoitetaan sitä tehoa, joka tekee työn erilaisissa sähkölaitteissa. Jos kuormitus on täysin resistiivistä, niin sähkölaite ottaa sähköverkosta vain pätötehoa. Pätöteho on sitä tehoa, mistä sähköverkkoyhtiö laskuttaa kulutuksen mukaan.

Resistiivistä kuormaa tuottavia laitteita ovat sähkövastuksia sisältävät laitteet. Tunnetuimpia laitteita ovat sähköpatteri, hehkulamppu ja sähkökiuas. Nykyisissä sähköverkoissa on enää vähän pelkästään resistiivisiä kuormia. Yksi syy siihen on hehkulamppujen poistuminen markkinoilta.

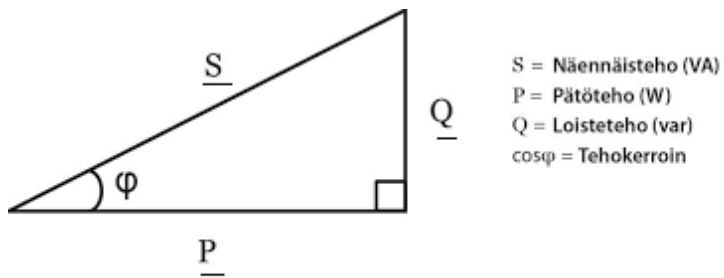
Pätötehoinduktanssissa huomataan että virran ja jännitteen välillä on 90°:n vaihesiirto, virta on tässä tilanteessa jäljessä jännitettä. Kuormituksen ollessa puhdaskäämi, niin pätötehoa ei kulu lainkaan. (Yleisjakson sähkötekniikkaa 1986, 335–337.) Tällaisia tilanteita on harvoin, kuormitukset ovat yleensä monipuolisempia. Käämin sisältäviä laitteita ovat loisteputkivalaisimet ja sähkömoottorit.

Pätöteho kapasitanssissa on samankaltaista kuin induktanssissa. Virran ja jännitteen välillä on 90°:n vaihesiirto, nyt kuitenkin virta on jännitettä edellä. Puhtaassa kapasitanssissa ei kulu lainkaan pätötehoa. Kapasitanssi on täysin päinvastainen kuin induktanssi, joten niiden ollessa samansuuruisia, ne kumoavat toisensa. Kapasitanssia tuottavat kondensaattorit. Niiden tarkoituksena on kumota verkosta pois induktanssia. (Yleisjakson sähkötekniikkaa 1986, 335–337.)

2.3 Näennäisteho

Näennäisteho on kokonaisteho, kun tehokolmiosta geometrisesti lasketaan yhteen pätöteho ja loisteho. Näennäisteho on se teho, joka kokonaisuudessaan kuormittaa verkkoa, loistehoa pienentämällä näennäisteho pienenee. Näennäisteho on pelkästään laskennallinen suure, sillä ei ole mitään fysikaalista vastinetta. Sähkölaskussa näennäistehoa ei

esiinny, suuremmilla sähkönkuluttajilla laskutetaan pätö- ja loistehon mukaan. Seuraavassa kuvassa on tehokolmio, jonka mukaan pätöteho ja loisteho yhteen laskemalla saadaan näennäisteho. (Yleisjakson sähkötekniikkaa 1986, 342.)



KUVA 2. Tehokolmio (Yleisjakson sähkötekniikkaa 1986)

3 KOMPENSOINTI

Sähkötoimittajat laskuttavat pätötehosta, joka tekee työtä. Pätöteholla pyöritetään esimerkiksi moottoreita. Sähkötoimittajat laskuttavat myös loistehosta, jota tarvitaan moottoreissa magneettikentän ylläpitämiseen. Sähkölaitoksella tuotetusta loistehosta joutuu maksamaan. Loistehomaksusta pääsee eroon kompensoinnilla, joka tuottaa liittymän tarvitseman loistehon. (Nokia capacitors pienjännittetuotteiden tuoteopas, 2.)

Loistehosta peritään maksua liittymän ollessa teholaskutuksessa. Tehomaksua veloiteetaan vähintään 40 kW:n kulutuksella ja keskijännitteellä 200 kW:n kulutuksella. Liittymän pääsulakekoon kasvaessa yli 63 A:n, loistehosta aletaan periä maksua. Pienemmissä kuluttajaliittymissä loistehomaksua ei siis peritä. Sähkönsiirtoyhtiö asentaa loistehomittarin, kun liittymä koko ylittää 63 A. (Caruna Oy verkkopalveluhinnasto)

3.1 Ylikompensointi ja alikompensointi

Ylikompensoinnilla tarkoitetaan sitä, että verkon rinnalla on liian suuria kompensointi paristoja, tällöin loisteho muuttuu kapasitiiviseksi. Ylikompensointi ei ole missään tilanteessa tarkoituksenmukaista, koska sähköverkkoyhtiölle täytyy maksaa ylikompensointitilanteessa liittymälle tuotetusta loistehosta. Tämä on yleensä vielä kalliimpaa kuin liittymän ollessa induktiivisesti loistehoinen. Ylikompensointi voi johtua viallisesta loistehonsäätimestä tai väärin asetellusta kompensoinnin suuruudesta. (Tampereen sähkölaitos loistehon kompensointi.)

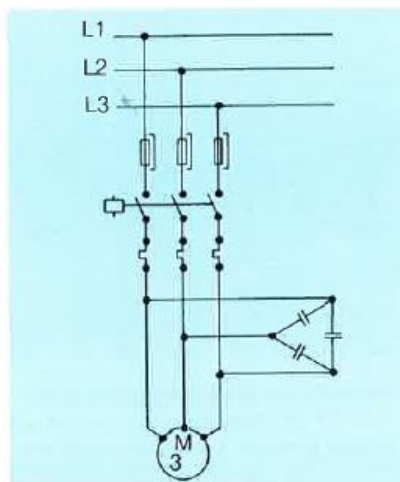
Alikompensointi syntyy sellaisessa tilanteessa, jossa liittymän kompensointia ei ole toteutettu lainkaan tai kompensointilaitteisto toimii väärin. Kompensointilaitteisto voi olla myös vioittunut tai väärin mitoitettu. Liittymän verkko on tällöin induktiivinen ja sähköverkkoyhtiö perii loistehomaksua omien ohjeiden mukaisesti. Alikompensoinnista ei veloiteta niin paljon kuin ylikompensoinnista. Sähköverkkoyhtiön määrittämän ilmaisosuuden ylittyessä, alkaa se periä loistehomaksua. Alikompensoinnista pääsee eroon tarkastelemalla nykyisiä kompensointilaitteistoja tai asentamalla kompensoinnin, jos sitä ei vielä ole. (Teollisuuden sähköasennukset 2004.)

3.2 Kompensointitavat

Kompensointitavat jaetaan kolmeen eri ryhmään. Laitekohtaiseen kompensointiin, jolla kompensoidaan yksittäinen sähkölaite. Ryhmäkompensointiin, jossa kompensoidaan kaikki sen ryhmäkeskuksen takana olevat sähkölaitteet ja keskitettyyn kompensointiin, jolla voidaan kompensoida koko sähköliittymä.

3.2.1 Laitekohtainen kompensointi

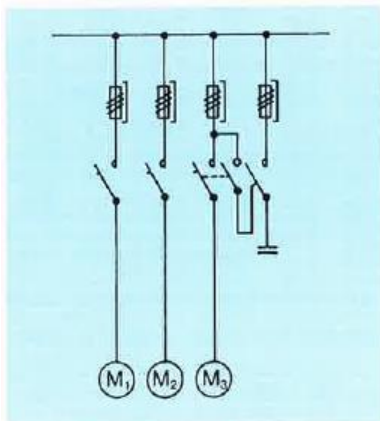
Laitekohtainen kompensointi voidaan toteuttaa esimerkiksi yhdelle oikosulkumoottorille. Moottorin lähelle asennetaan oikean suuruinen kompensointikondensaattori, kondensaattorin valinnassa täytyy kiinnittää huomiota siihen, ettei $\cos \varphi = 0,99$ ylity. Laitekohtainen kompensointi edellyttää sitä, että loistehon suuruus ei vaihtele paljoa. Moottorin lämpöerlettä aseteltaessa on otettava huomioon kompensoinnin vaikutus virtaan, koska kompensointi pienentää kokonaisvirtaa. (Teollisuuden sähköasennukset 2004, 19.) Kuvassa 3 on esitetty kytkentäkuva paikallisesta kompensoinnista. Kompensointikondensaattorit on kytketty moottorin rinnalle. Tällä ratkaisulla vältetään loistehon aiheuttamasta kuormituksesta moottorin syöttökaapeliin.



KUVA 3. Paikallisen kompensoinnin kytkentäkuva. (Power factor correction nokia capacitors, 6.)

3.2.2 Ryhmäkompensointi

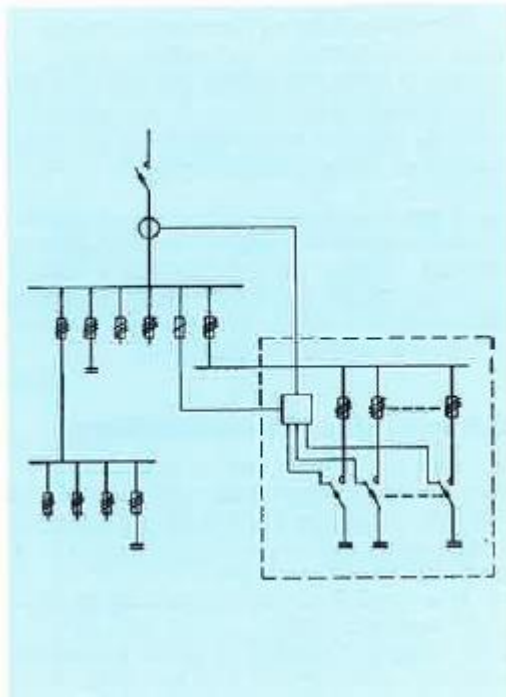
Ryhmäkompensointi toteutetaan siten, että kompensointiparisto sijoitetaan ryhmäkeskuk-
sen luo tai sen sisälle. Edellytyksenä on ryhmien pieni loistehon vaihtelu. Ryhmäkom-
pensointi toteutetaan yleensä jos keskusta syöttävä kaapeli on pidempi kuin ryhmälle läh-
tevä syöttökaapeli. (Teollisuuden sähköasennukset 2004, 19.). Loisteho ei kuormita ryh-
mäkeskuksesta lähteviä laitekaapeleita. Kuvassa 4 on esitetty ryhmäkompensointi moot-
torille M3. Kytettäessä moottori M3 päälle siihen rinnalle kytkeytyy kompensointi.



KUVA 4. Ryhmäkompensoinnin kytkentäkuva (Power factor correction nokia capaci-
tors, 6.)

3.2.3 Keskitetty kompensointi

Keskitetty kompensointi sijoitetaan ryhmäkeskukseen, pääkeskukseen tai suoraan muun-
tajan toisiopuolen napoihin sulakkeilla suojattuina. Tällä tavalla saadaan kompensoitua
koko sähköverkko. Keskitetyssä kompensoinnissa kompensoinnin tarve vaihtelee, joten
niissä on hyvä käyttää automatiikkaparistoja. Niissä on loistehon säädin, se mittaa jatku-
vasti verkon tehokerrointa. Säädin vaihtelee portaittaisesti kondensaattorien määrää sen
hetkisen loistehon kompensointitarpeen mukaan. Säädin estää verkon ylikompensoimi-
sen. (Teollisuuden sähköasennukset 2004, 19.). Kuvassa 5 on kompensointiparisto kyt-
ketty yhteen lähtöön pääkeskuksella. Laitteistossa on syöttökaapelin virranmittaus ja jän-
nitieto pääkeskukselta. Näiden mittausten avulla loistehonsäädin kytkee erikokoisia
kompensointiparistoja käyttöön.



KUVA 5. Keskitetty kompensointi (Power factor correction nokia capacitors, 6.)

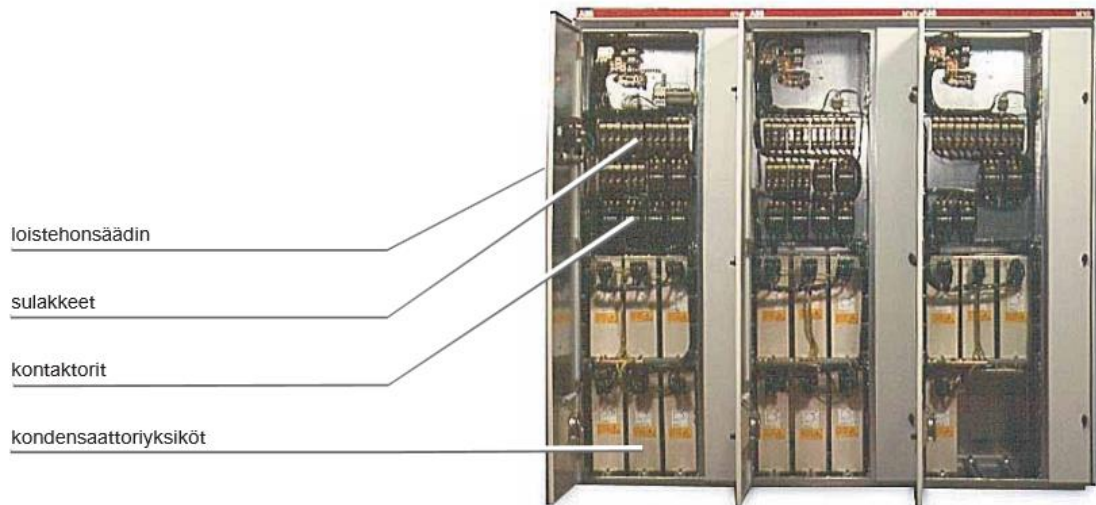
3.3 Kompensointilaitteistot ja häiriösuodattimet

Kompensointilaitteistoja on erilaisia. Niiden valinta riippuu sähköverkon häiriöpitoisuudesta sekä loistehon tarpeen suuruudesta. Sähköverkossa esiintyvät yliaallot voidaan suodattaa pois siihen soveltuvilla laitteilla. Kompensointipariston yhteyteen voidaan sijoittaa häiriöitä poistavia komponentteja. Seuraavissa kappaleissa on esitelty erilaisia kompensointiratkaisuja.

3.3.1 Automaattinen kompensointiparisto

Automaattisen kompensointipariston rakenne koostuu loistehosäätimien ohjaamista kondensaattoriportaista. Niillä tuotetaan verkossa kulloinkin tarvittavan loistehon määrä. Porras koostuu kondensaattoriyksiköistä, kontaktoreista ja sulakkeista. Yleisimmät porraskoot ovat 25 kVar ja 50 kVar. Erilaisia kytkentäportaita voidaan tehdä kontaktorien apukoskettimien avulla. Loistehonsäädin mittaa tarvittavan loistehon määrää ja kytkee kontaktorien avulla eri kompensointiparistoja verkkoon. (Pienjännitejärjestelmät ABB).

Seuraavassa kuvassa on automaattinen kompensointiparisto. Kuvasta 6 näkee kompensointi laitteiston yläosaan sijoitetut kontaktorit ja alaosassa on kondensaattoriyksiköt.



KUVA 6. Automaattinen kompensointiparisto (Pienjännitejärjestelmät ABB).

3.3.2 Estokelaparisto

Nykyään siirtoverkoissa esiintyy paljon yliaaltovirtoja. Niiden lisääntyminen johtuu erilaisten epälineaaristen kuormien kasvamisesta, niitä ovat tasasuuntaajat, tyristorikäytöt, taajuusmuuttajat ja tehovalaisimet. Tällaisten verkkojen kompensointi on hyvä suorittaa estokelaparistoilla. Estokelaparistot asetetaan oikealle taajuudelle käyttämällä rautasydämissen kuristimen ja kondensaattorin sarjakytkentää. Suomessa käytetyt yleisimmät viritystaajuudet ovat 189 Hz, 141 Hz ja 134 Hz. Viritystaajuudet voidaan myös mitoittaa, yleensä ne asetetaan alemmas kuin verkossa esiintyvä alin haitallinen yliaalto. (Tampereen kondensaattoritehdas estokelaparistot).

Estokelaparistoa käytetään harmonisen kokonaissärön ollessa yli 3 %. Estokelaparistoissa on jokaisessa portaassa kondensaattorin ja kuristimen sarjakytkentä. Näillä muodostetaan sarjaresonanssiipiiri, joka viritetään alemmalle tasolle kuin sähköverkossa havaittu pienin harmoninen yliaaltotaajuus. Normaalisti viidennen yliaallon määrästä suodatetaan 10-30 %, viritys taajuuden ollessa 189 Hz. (Yliaallot ja kompensointi, 53.) Kuvassa 7 on estokelaparisto, jonka rakenne on samantyylinen kuin automaattisessa kompensointiparistossa.



KUVA 7. Estokelaparisto (Falico Oy)

3.3.3 Yliaaltosuodatin

Yliaallot aiheuttavat verkossa monenlaisia häiriöitä ja vikoja. Yliaaltosuodattimet eli imupiirit suodattavat verkosta epälineaaristen kuormien aiheuttamaa yliaaltovirtaa ja korjaa jännitesäröä säädetylle tasolle. Ne tuottavat myös verkkoon normaalitajuisia loistehoa. Yliaaltosuodattimia ohjataan yleisesti loistehonsäätimellä tai kuormilta jotka lähettävät ohjaustietoja. Yliaaltoja tuottavat esimerkiksi invertterit, UPS-laitteet ja purkauslamput (Yliaaltosuodattimet ABB).

Passiivinen yliaaltosuodattimen rakenne on kondensaattorin ja rinnankytketyn kelan piiri. Sen impedanssi asetetaan todella suureksi 150 Hz. Passiivisuodattimia ohjataan yleensä loistehon ohjausyksiköllä loistehon määrän mukaan. Kytkeä suoritetaan yleensä siten, että ensimmäisenä kytketään alimman taajuuden suodatin ja sitten ylemmän taajuuden suodatin. Verkosta irtikytkentä tehdään juuri päinvastaisessa järjestyksessä (ST 52.51.03).

Aktiivisuodatin tuottaa sähköverkon yliaaltovirroille vastakkaisia yliaaltovirtoja, näin ollen se on yliaaltogeneraattori. Nykyisillä aktiivisuodattimilla voidaan tehdä yliaaltoja 2-50. Niillä voidaan poistaa yhtäaikaaisesti korkeintaan 20 yliaaltoja. Laitteiston ylijäävällä kapasiteetilla pystytään suodattamaan perustajuisia loistehoa. Nollajohtimen mitoittamisessa on huomioitava että laitteiden ja suodattimen välisiä kolmansia yliaaltoja se ei

poista. Kohteesta, johon aktiivisuodatin asennetaan, on irrotettava kaikki estokelattomat kompensointikondensaattorit. (ST 52.51.03)

4 KOMPENSOINNIN EDUT

4.1 Taloudelliset edut

Kompensoinnin jälkeen kuluttajan ei tarvitse maksaa korkeita loistehomaksuja. Esimerkiksi Caruna Oy:llä on seuraava käytäntö loistehomaksun määräytymiselle ” Loistehomaksun perusteena on kuukausittainen loistehohuippu, josta on vähennetty 20 % saman kuukauden pätötehuipun määrästä”. (Caruna Oy verkkopalveluhinnasto) Jokaisella verkkoyhtiöllä on oma käytäntö loistehomaksun määrittämiselle. Loistehon kulutusta mitataan asiakkaan liittymästä esimerkiksi pätötehoa ja loistehoa mittaavalla yhdistelmämittarilla. (Teollisuuden sähköasennukset 2004, 20.)

Loisvirta aiheuttaa myös loistehoa joka aiheuttaa energiahäviöitä. Kun loisteho kompensoidaan niin pelkän pätötehon siirto aiheuttaa vähemmän energiahäviöitä. Tämä tarkoittaa sitä, että loisteho olisi hyvä tuottaa mahdollisimman lähellä kulutusta. (Yliaallot ja kompensointi 2006, 20.)

4.2 Liittymän kapasiteetin kasvaminen

Kun asiakas on liittynyt sähköverkkoyhtiön verkkoon pienjännite liittymänä, niin liittymä perustuu huipputehoon ja sitä kautta huippuvirtaan. Sähkön käytön kasvaessa niin liittymää joudutaan yleensä suurentamaan. Liittymän syöttökaapeli ja pääkeskus voivat jäädä liian pieniksi ja ne joudutaan vaihtamaan. Kompensointikondensaattorilla voidaan välttyä liittymän suurentamiselta. Tällaisessa investoinnissa on myös toinen hyöty, liittymän loistehomaksut loppuvat tai vähenevät merkittävästi. (Virtuaali Ammattikorkeakoulu).

4.3 Verkon siirtokapasiteetti

Kuorman ottama virta lasketaan näennäistehosta. Loistehon suuruus vaikuttaa näennäistehoon, loistehoa pienentämällä näennäisteho lähestyy pätötehon suuruutta. Kokonaisvirta lasketaan seuraavalla kaavalla näennäistehon avulla. (Virtuaali Ammattikorkeakoulu).

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (2)$$

I = Kokonaisvirta

S = Näennäisteho

U = Pääjännite

4.4 Jännitteen alenema

Kompensointi vaikuttaa jännitteen alenemaan koska kuormitus virrat pienenevät. Jännitteen aleneman vaikutus alle 16 mm^2 poikkipinnoilla on pieni. Suurilla poikkipinnoilla ja pitkillä siirtojohdoilla merkitys on jo huomattava. Kiinteistöjen pääkeskuksella hyväksytään $+6\%/-10\%$ ero kiinteistön nimellisjännitteestä. Kiinteistöjen sisäverkossa hyväksytään 4% jännitehäviö. Teollisuuslaitoksissa on erilaiset käytännöt sisäverkon jännitehäviöihin. Seuraavasta yhtälöstä huomataan että siirtoverkon resistanssiin kuormitukseen lisätään loisvirta kerrottuna siirtoverkon reaktanssilla. Tämä lisää verkon jännitteenalenemaa. (Virtuaali Ammattikorkeakoulu).

$$U_n = RI_p + XI_q \quad (3)$$

R= koko siirtoverkon resistanssi [Ω]

X= koko siirtoverkon reaktanssi [Ω]

I_p =pätövirta

I_q =loisvirta

5 SÄHKÖVERKON HÄIRIÖT

5.1 Sähkön laatu

Sähkön laatu vaikuttaa merkittävästi tuotantoprosessiin ja sen toimivuuteen. Ongelman aiheuttajia on monia, yleisimmät ovat jännite- tai virtapiikit, yliaallot ja jännitetason heittely. Ongelmien ollessa suuria voivat häiriöt aiheuttaa pahimmassa tapauksessa tuotannon keskeytymisen, tällöin taloudelliset menetykset voivat olla suuria. Käytettävissä komponenteissa voi olla myös vikoja, jotka aiheuttavat sähkönlaadun vaihtelua. (ABB TTT-käsikirja 2000–07, 1.)

Sähkönlaadun heikkous tulee useimmiten esille silloin kun hankitaan uusia laitteistoja. Nämä laitteistot eivät siedä sähköverkon sen hetkistä häiriötasoa ja toimivat virheellisesti. Uudet laitteistot ottavat usein epälineaarista virtaa ja lisäävät siten verkon häiriöitä entistään. Tällaisessa tilanteessa vikaa ei yleensä ensimmäisenä lähdetä hakemaan sähköverkosta, jolloin häiriötilanteet pitkittyvät. (ABB TTT-käsikirja 2000–07, 1.)

5.2 Käynnistysvirrat

Pumput ja moottorit voivat ottaa nimellisvirtaa huomattavasti suuremman käynnistysvirran. Tästä voi aiheutua jännitteen notkahtelua, kun suuret kuormat kytketään päälle. Tämän voi huomata välkyntänä. Se tarkoittaa valonlähteen luminanssin tai spektrijakauman muuttumista lyhyellä aikavälillä. Tämä asia riippuu verkonjäykkyyydestä, eli kuinka kaukana muuntaja sijaitsee. (Imatran seudun sähkönsiirto).

Käynnistysvirran pienentämiseen on erilaisia keinoja. Pehmokäynnistimillä voidaan virtaa pienentää 20 % -50 %. Tähtikolmiokäynnistys kytkee moottorin ensin tähteen ja sitten kolmioon. Taajuusmuuttajat pienentävät käynnistysvirran lähes nimellisvirran suuruuteen. (Imatran seudun sähkönsiirto).

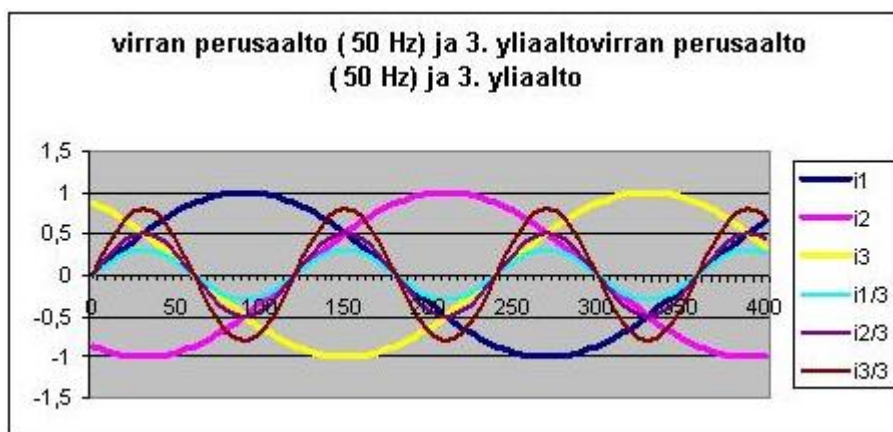
Käynnistys virtaa voidaan pienentää myös EC-moottoreilla. EC-moottori sisältää ohjaus-elektroniikan, joten taajuusmuuttajia ei tarvita erikseen. Moottorille tuotava syöttökaapeli

voidaan tällöin toteuttaa normaalilla kaapelilla, jossa ei ole häiriösuojauksia. Ohjauselektronikka säätää moottorin käynnistysvirtaa, tällöin vältetään suurilta käynnistysvirroilta. (Mastervent Oy EC puhaltimet).

5.3 Nollajohtimen kuormittuminen

Nollajohdin ei kuormitu perustaajuisella symmetrisellä kolmivaihekuormalla lainkaan. Epäsymmetrisessä kuormituksessa nollajohdin kuormittuu korkeintaan niin paljon kuin eniten kuormittunut vaihejohdin. (Yliaallot ja kompensointi, 32.) Sähköverkossa on monia kuormia kuten hakkuriteholähteillä varustetut virtalähteet ja taajuusmuuttajat. Näiden kuormien virta ei ole puhdasta siniaaltoa. Ne muodostavat yliaalloja johtimiin, joten ne on otettava nollajohtimen mitoituksessa huomioon. Tämä tarkoittaa että nollajohtimen virta täytyy pienentyä samassa suhteessa vaihejohtimen virtaan nähden. Mikäli näin ei tapahdu niin nollajohdin täytyy ottaa huomioon piirin mitoituksessa. Mikäli harmonisten yliaallojen osuus on yli 10 %, niin silloin nollajohtimen poikkipinta-ala ei voi olla vaihejohtinta pienempi. Kuvaajasta 1 huomaa kuinka nollajohtimen virtaan vaikuttavat kolmannet yliaallot summautuvat samaan kohtaan. Näin ollen nollajohtimen virta kasvaa vaihejohtimen virtaa suuremmaksi. (Virtuaali Ammattikorkeakoulu).

KUVAAJA 1. Kolmannen yliaallon vaikutus nollajohtimeen (Virtuaali Ammattikorkeakoulu).



5.4 Epäsymmetrinen kuormitus

Epäsymmetrisellä kuormituksella tarkoitetaan kolmivaiheisen sähköverkon vaiheiden epätasaista kuormitusta. Sen voivat tehdä yksivaihekuormat, jotka on kytketty erivaiheille

epätasaisesti. Sitä voi aiheuttaa myös sulakkeen palaminen ja kompensointiparisto. Yleisesti L1-vaihe on eniten kuormitettu, koska siihen kytketään kaikki ryhmät ensimmäisenä. Suurin vinokuormitussuositus joka sallitaan eri vaiheiden kesken on $\pm 10\%$. Tällä tarkoitetaan sitä, että yhden vaiheen virta voi poiketa enintään 10% vaihevirtojen keskiarvosta. (ST 52.51.04)

5.5 Sähkömagneettiset häiriöt

Sähkömagneettisia häiriöitä aiheuttavat mahdollisesti matkapuhelimet, sähköenergian jakelulinjat, tietokoneiden hakkuriteholähteet ja teollisuudessa sähköiset ohjausjärjestelmät. Niiden tuottamat häiriöt voivat häiritä muita järjestelmiä. Häiriöt voivat edetä johtumalla. Johdin kuljettaa sähköenergiaa tai automaatiojärjestelmän viestiä. Häiriöt etenevät myös samassa kaapelissa. Näiltä häiriöiltä on mahdollista suojautua eristämällä sähköpiirejä toisistaan ja erottamalla ne maasta. (Teollisuuden sähköasennukset 2004, 21.)

Induktiiviset häiriöt etenevät magneettikentän välityksellä. Energia, joka liikkuu sähkövirran kuljettamana, on johtimen ympärillä olevassa magneettikentässä. Jos kaapelissa kulkee suuri virta niin magneettikentän aiheuttamat häiriöt ovat suurempia. Etäisyyden kasvaessa johtimeen häiriöt pienenevät. Nämä induktiiviset häiriöt ovat kymmenien tai satojen kilohertsien luokkaa. (Teollisuuden sähköasennukset 2004, 21.)

Häiriöt voivat edetä myös sähkökentän välityksellä kapasitiivisesti. Kapasitanssi syntyy kahden komponentin välille, esimerkkinä voidaan käyttää kaapelia. Näiden kapasitanssien välille rakentuu vaihtuvalla virralla häviövirtapiiri. Puhelimet ovat esimerkki langattomista tietoliikennelaitteista. Ne säteilee ympärilleen suuritaajuisia Megahertsi-Gigahertsi luokan taajuutta, joka aiheuttaa sähkömagneettista säteilyä. Edellä mainituilta häiriöiltä voidaan suojautua johtimien parikierrolla, kaapeleissa olevilla metallisuojuilla ja asentamalla kaapelit mahdollisimman kauas toisistaan. (Teollisuuden sähköasennukset 2004, 21.)

5.6 Harmoniset yliaallot

Minkä tahansa valitun vaihtovirran muodon, jossa jaksot ovat toisien kanssa samanlaiset, on mahdollista purkaa palasiin eli komponentteihin. Yhdessä tällaisessa jaksossa on aina

tasavirtakomponentti, virran perusaalto ja harmoniset yliaallot. Taajuus määrittää harmonisten yliaaltojen määritelmän. Jos taajuus on 100 Hz ne ovat toisia, 150 Hz kolmansia, 250 Hz viidensiiä, 350 Hz seitsemänsiiä yliaaltoja ja niin edelleen. (Teollisuuden sähköasennukset 2004, 25)

Lineaarisissa virtapiireissä resistanssien, induktanssien ja kapasitanssien arvot eivät muutu, vaikka niiden läpi kulkeva virta muuttuu. Näissä tapauksissa virran perusaalto ja harmoninen yliaalto kulkevat tietyssä vaihesiirtokulmassa toisistaan riippumattomina eikä sekaannu toisiinsa. (Teollisuuden sähköasennukset 2004, 25).

Epälineaarisissa virtapiireissä komponenttien arvot muuttuvat virran muuttuessa. Tässä tapauksessa virran perusaalto ja harmoniset yliaallot eivät ole samanvaiheisia ja ne sekoittuvat toisiinsa. Analysaattorilla otetut virtakäyrät ja jännitekäyrät säröytyvät ja ne poikkeavat sinikäyrästä. Tämä aiheuttaa sähkön laadun huononemista (Teollisuuden sähköasennukset 2004, 25).

Yliaaltovirtoja aiheuttavat seuraavat järjestelmät ja laitteet: purkauslamput, muuntajat, taajuusmuuttajat, pehmokäynnistimet, tasasuuntaajat valokaariuunit, sähkösuodattimet, sähköhitsauslaitteet, UPS-laitteet ja hakkuriteholähteet.

Ne aiheuttavat magneettikenttien suurentumista sähkölaitteissa, kojeistotiloissa ja kaapeloinneissa, häiriöitä automaatio- ja lähiverkkojärjestelmissä, koneiden ja muuntajien kuormenemista, teho- ja energiahäviöitä sähkölaitteistoissa ja nollajohtimen kuormittumista.

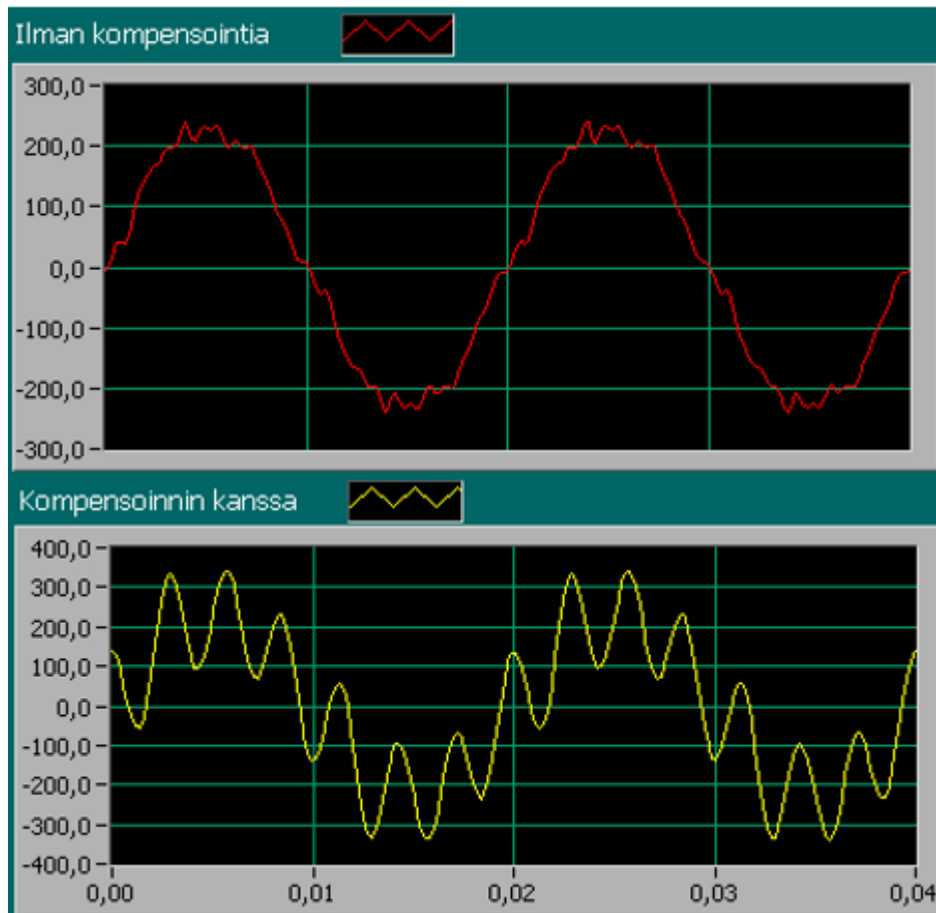
Yliaallot aiheuttavat häviöiden kasvua sähköverkossa ja sähkölaitteissa sekä laitteiden kuormitettavuuden alenemista. Yliaallot aiheuttavat mittareille virhenäyttämiä sekä automaatiolaitteiden ja suojarleiden erilaisia virheellisiä toimintoja. Näitä häiriöitä aiheuttavat yleisesti käyttäjän omat sähkölaitteet. (Yliaallot ja kompensointi, 30.)

Yliaaltovirtojen luomat magneettikentät, erityisesti 3. yliaallon, jossa se summautuu vaihejohtimista nollajohtimeen ja leviää verkon nollauksista runkorakenteisiin, aiheuttavat näyttöjen välkyntää. Suuritaajuiset häiriöt joihin lukeutuu (ääni-, radio- ja tv-taajuudet), Ne etenevät säteilemällä ja niiden selvittäminen on hankalaa (Yliaallot ja kompensointi, 31.)

5.7 Resonanssi

Rinnakkaisresonanssi voi muodostua suuntaajan rinnalle, johon on kytketty kompensointikondensaattori. Impedanssi kasvaa suureksi ja jännite säröytyy paljon. Piiriin muodostuu tällöin korkea virta ja kompensointiparisto voi ylikuormittua. Tilanteessa syntyvän jännitteen suuruuteen vaikuttaa impedanssi ja yliaaltojatuottavan laitteen teho (Yliaaltoopus). Estokelaparistoa valittaessa täytyy ottaa huomioon tämä ilmiö. Estokelapariston viritystaajuus täytyy asettaa siten, etteivät mitatut yliaaltovirrat pääse voimistumaan. Viritystaajuuden täytyy olla riittävän kaukana häiriötaajuudesta. Kuvaajassa 2 on havainnollistettu tilannetta. Kompensoinnin kytkeminen päälle aiheuttaa jännitteelle suurta säröytymistä.

KUVAAJA 2. Jännitteen säröytymien rinnakkaisresonanssitilanteessa (Teollisuudensähköverkko).



Sarjaresonanssi syntyy yleensä kompensointikondensaattorin ja sähköliittymää syöttävän muuntajan hajainduktanssien välille. Tilanteessa piirin reaktanssi on pieni, tällöin verkosta lähtevällä yliaaltovirralla on pieni-impedanssinen sulkeutumistie. Pienen impedanssin ansiosta sen taajuuden yliaaltovirran aiheuttama jännitesärö ei verkossa kasva suureksi, kondensaattorilla tilanne on toinen ja jännite säröytyy paljon (Yliaalto-opus)

6 MITTAUKSET

Tilaaaja on esittänyt mitattavaksi verkon loistehon suuruuden ja verkonhäiriöpitoisuuden. Mittauksilla tarkasteltiin kolmen päivän ajalta kulutusvaihtelua ja verkonhäiriöitä. Mittaukset suoritettiin Alavuden Lämpö Oy:n lämpölaitoksella. Verkostoanalysaattorilla mitattiin loistehon suuruus, harmoniset virtayliaallot, harmoniset jänniteyliaallot, taajuus, jännite ja virta.

6.1 Mittari

Mittarina käytettiin FLUKE 435 POWER QUALITY ANALYZER joka lainattiin Tampereen Ammattikorkeakoululta. Mittarilla voidaan tutkia verkon eri ominaisuuksia kuten: vaihekohtaisia jännitteitä ja virtoja, harmonisia yliaaltoja ja välkyntää. Ennen kompensointilaitteiston hankintaa on suoritettava mittauksia analysaattorilla. Kompensointilaitteiston valmistaja tarvitsee mittaustietoja, joiden perusteella laitteisto mitoitetaan. Tärkeimmät tiedot ovat kompensoinnin suuruus kVar sekä sähköverkon häiriöpitoisuuden harmoniset yliaallot. Alla olevassa kuvassa 8 on mittari, jolla mittaukset suoritettiin.



KUVA 8. Fluke verkostoanalysaattori.

6.2 Mittaustoiminnot

Mittarilla voidaan mitata monenlaisia asioita. Taulukkoon on listattu verkostoaalysaattorin eri mittaus mahdollisuuksia.

TAULUKKO 1. Verkostoaalysaattorilla mahdolliset mittaukset. (Fluke 435 Käyttöohjekirja)

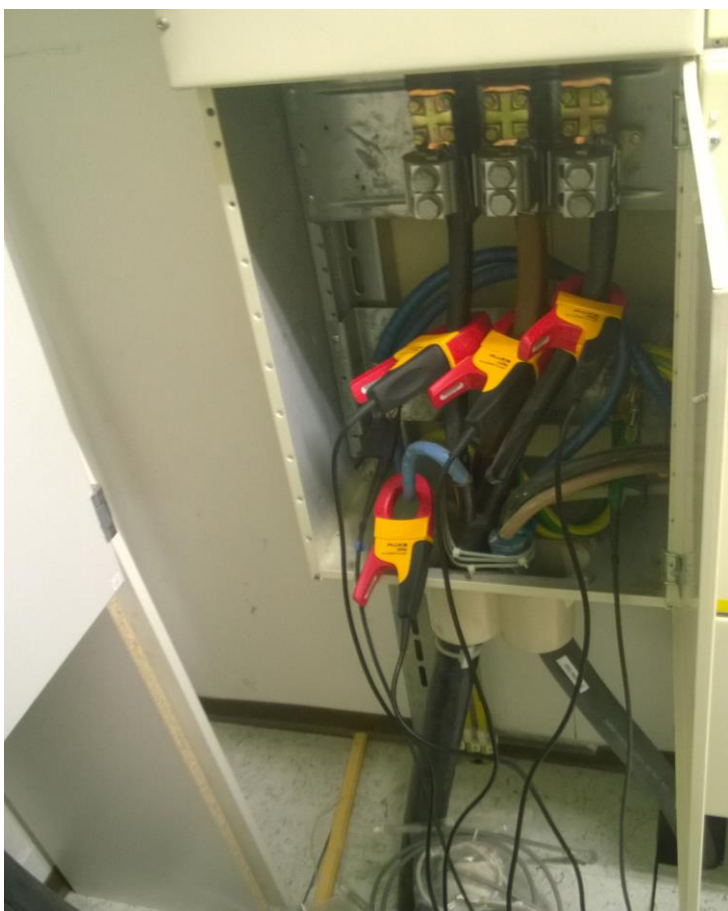
Mitattava suure	Selite
Vaihekohtaiset jännitteet	Niiden tulisi pysyä mahdollisimman lähellä nimellisarvoa. Aaltomuoto tulisi olla mahdollisimman lähellä siniaaltomuotoa ja häiriötöntä.
Vaihekohtaiset virrat	Mittarilla voidaan tarkastella vaihekohtaisia virtoja sekä kokonaisvirtoja.
Loistehon kulutus	Mittarilla voidaan tarkastella loistehon kulu- tusta.
Huippukerroin	Huippukerroin (CF) 1.8 (tai suurempi) sillä tarkoitetaan säröytynyttä aaltomuotoa.
Harmoniset yliaallot	Tällä nähdään vaihekohtaisesti jännite- ja virta yliaallot sekä verkon konnaissäröt.
Välkyntä	Tällä toiminnolla nähdään lyhyet sekä pitkä- aikaisemmat jännitteen välkyntäarvot.
Taajuus	Suomessa taajuuden kanssa ei ole ongelmia, taajuuden arvon voi myös mitata.

6.3 Kuormitus

Mittaus ajankohta osui tammikuulle, ulkona oli reilusti pakkasta ja kuormitus oli korkealla. Kuormitus on pienintä kesällä, koska silloin talojen lämmitykseen ei kulu lainkaan energiaa. Kesällä lämpölaitoksella tuotetaan vain käyttöveden lämmitykseen tarvittava lämpöenergia. Lämpölaitoksen kuormitus on pääasiassa sähkömoottorikuormaa. Moottorit pyörittävät erilaisia pumppuja ja puhaltimia. Lähes kaikki sähkömoottorit on taajuusmuuttajaohjattuja, joten niiden käynnistysvirrat eivät ole suuria.

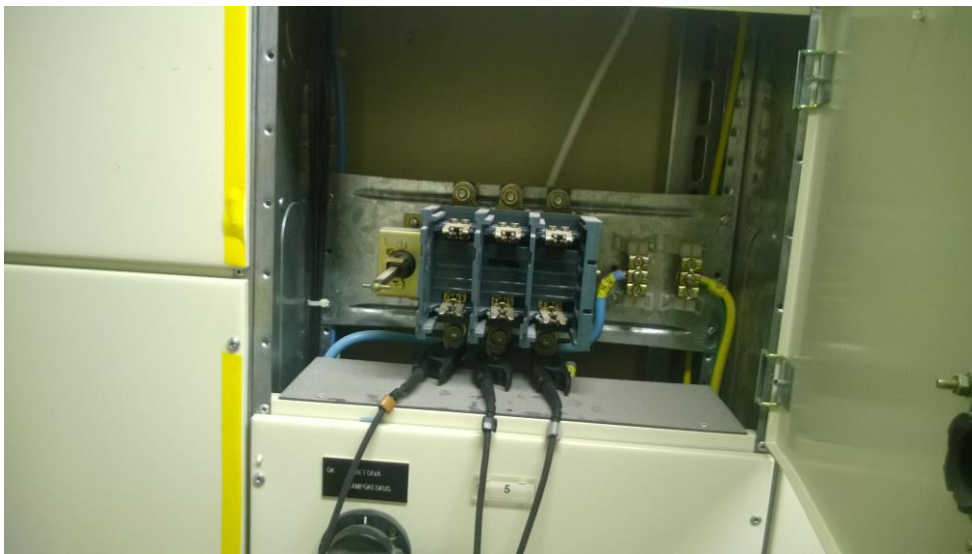
6.4 Mittauspaikka

Mittauspaikaksi valitsin lämpölaitoksen pääkeskuksen, koska pääkeskukseen tuli suoraan syöttö muuntamolta. Keskukseen syöttökaapeliin laitoin virtapihdit johtimien ympärille. Kuvassa 9 on havainnollistettu kytkentää. Virtapihtejä asettaessa täytyi olla erityisen huolellinen, koska paljaat jännitteelliset osat olivat lähellä.



KUVA 9. Virtapihtien kytkeminen syöttökaapeliin.

Mittari tarvitsi myös jännitteen mittauksen. Jännitteen mittaukseen käytettiin hauenleuoilla varustettuja mittapäitä. Jännite mittaukseen soveltuva paikka löytyi keskuksen vapaasta lähdöstä. Kuvassa 10 on kytkentä.

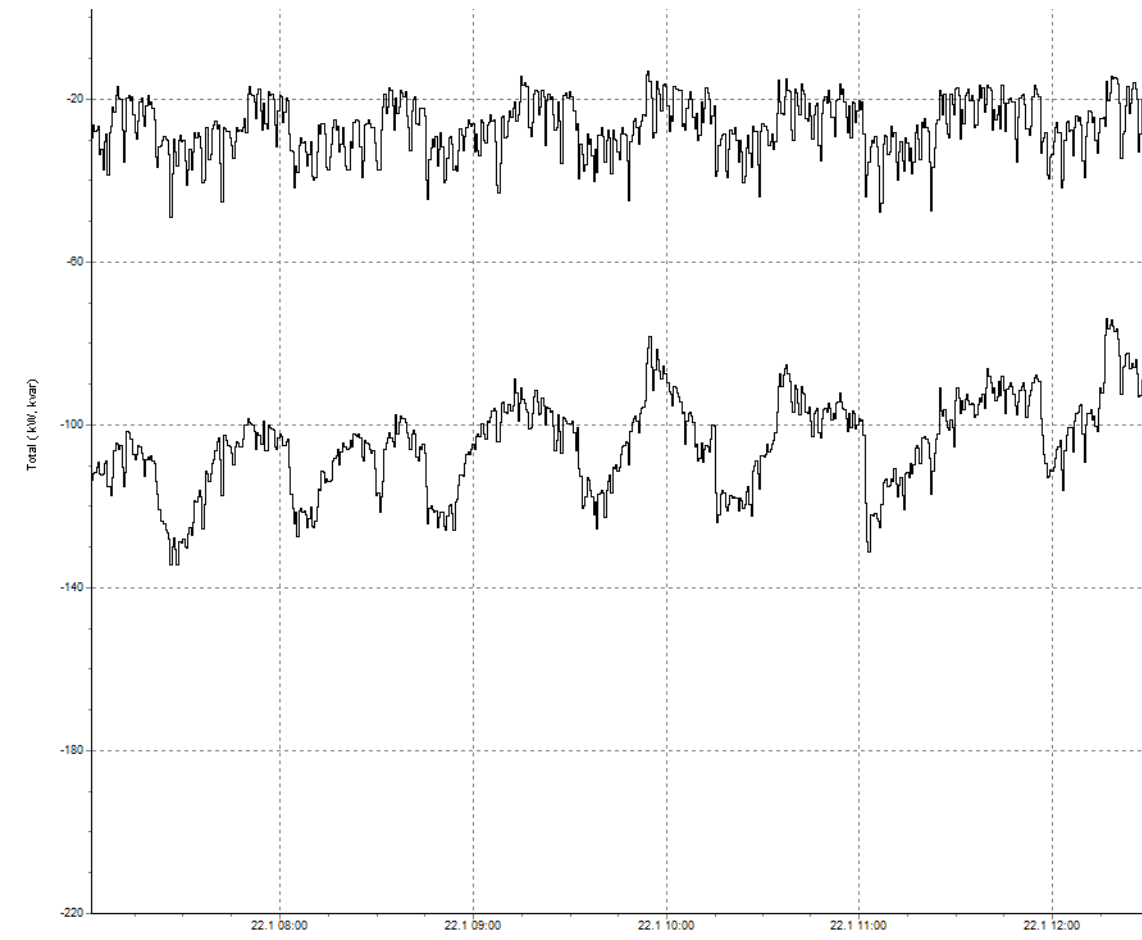


KUVA 10. Jännitteen mittaus verkostoaalysaattorille.

6.5 Pätö- ja loistehon mittaus

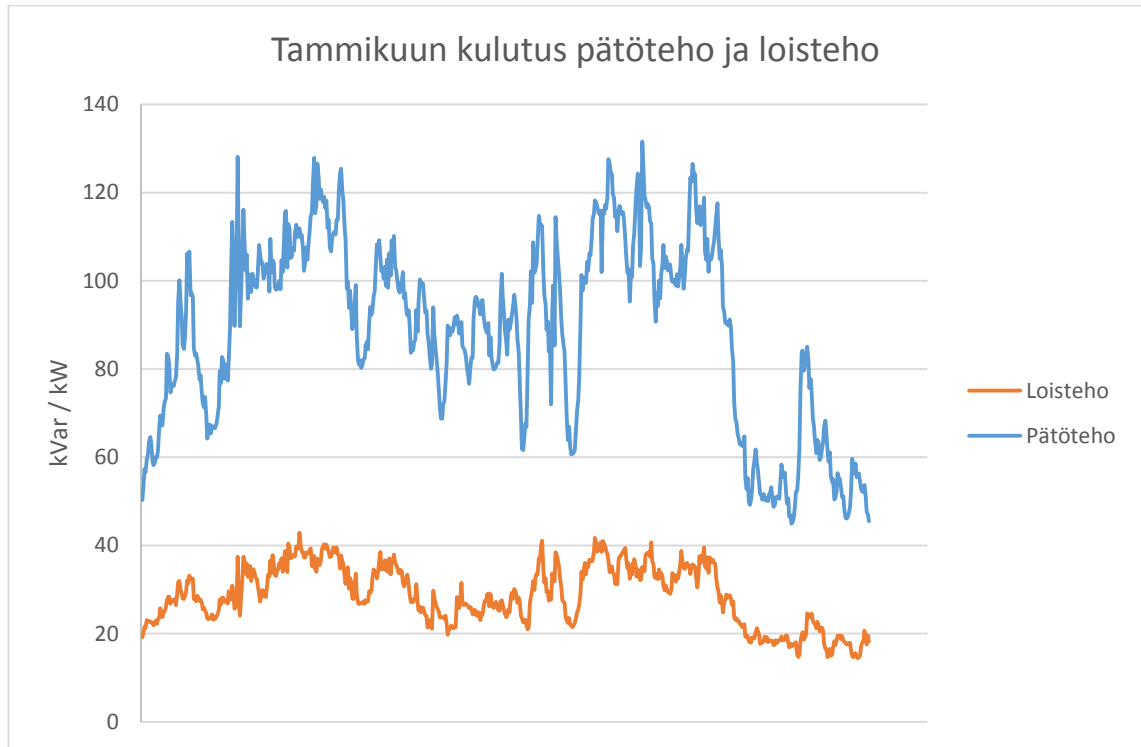
Verkostoaalysaattori mittasi kokonaispätötehoa ja kokonaisloistehoa. Mittaustulos oli jostain syystä negatiivinen, mutta tulos on sama etumerkkiä vaihtamalla. Kuvaajasta huomaa kuinka pätöteho ja loisteho käyttäytyvät. Mittausta aloittaessa ulkona oli noin -20 astetta pakkasta, joten kuormitus oli suuri. Pätöteho oli suurimmillaan noin 130 kW mittausta tehdessä. Loisteho oli suurimmillaan noin 50 kVar. Loistehomaksu määräytyi kuukauden loistehohuipun mukaan, siitä vähennetään saman kuukauden pätötehuipun määrästä 20 prosentin ilmaisosuus.

KUVAAJA 3. Kuvakaappaus loistehon mittauksesta.



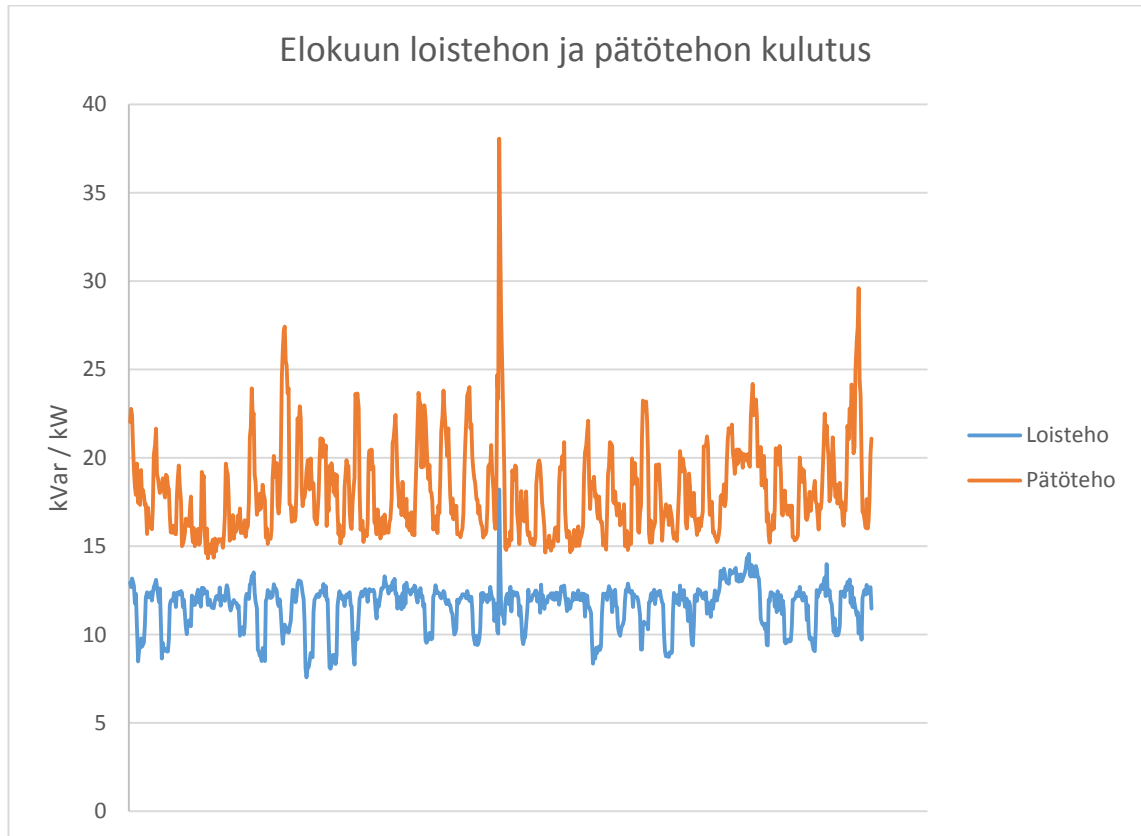
Seuraavassa kuvaajassa 4 on sähkönsiirtoyhtiöltä saatuja loistehon ja pätötehon kulutus-tietoja. Kuvaajasta huomaa kuinka loistehohuippu on 43 kVar:n suuruinen ja pätöte-hohuippu on 132 kW. Näiden kulutus lukemien perusteella määräytyy loistehomaksu.

KUVAAJA 4. Tammikuun loistehon ja pätötehon kulutus.



Vertailun vuoksi kuvaajassa 5 on elokuun mittaustietoja. Lämpölaitoksen mitoittaessa kompensointia täytyy huomioida kesäajan pienempi kuormitus. Ylikompensointi ei ole mitenkään järkevää. Pienimmän mittaushetken loistehon kulutus on noin 8 kVar:ia, joten kompensoinnin pienimmän portaan täytyy olla korkeintaan tuo 8 kVar, muuten menee ylikompensoinnin puolelle. Kuvaajasta huomaa myös piikin pätötehon ja loistehon kulutuksessa. Sen mukaan määräytyy elokuun loistehomaksu.

KUVAAJA 5. Elokuun loistehon ja pätötehon kulutus.



6.6 Harmoniset yliaallot

Mittauksien perusteella harmonisten yliaaltojen särökerroin THD oli 3 %, joten seuraavassa taulukossa olevien arvojen perusteella särökertoimen laatuluokka oli lähes hyvän tasolla.

TAULUKKO 2. Särökertoimen laatuluokkia (ST-52.16)

Laatuluokka	Harmoninen jännitesärö [%]
Hyvä	≤ 3
Normaali	$\leq 3-6$
Standardi	$\leq 6-8$ (95 % arvoista)

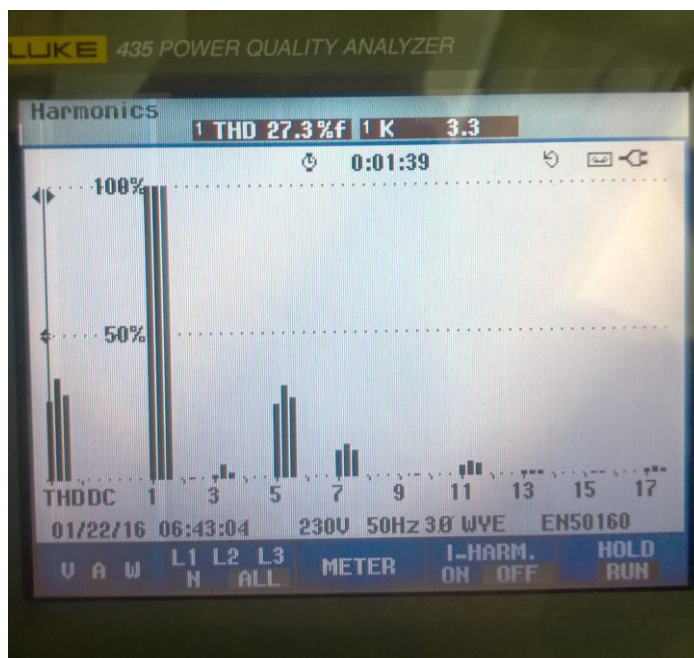
Mittarilla pystyi tarkastelemaan yksittäisiä yliaaltoja. Suurin yksittäinen yliaalto oli viides yliaalto. Sen yliaaltojännite oli 2,7 prosenttia perustaajuisesta jännitteestä. Toiseksi suurimmaksi nousi seitsemäs yliaalto, jonka suuruus perustaajuisesta jännitteestä oli 1,1 prosenttia. Kolmannen yliaallon osuus oli enää 0,4 prosenttia. Taulukossa on suurimmat

sallitut yliaaltojännitteet. Näissä mittauksissa olleet yliaaltojännitteet eivät nousseet lähellekään sallittuja rajoja.

TAULUKKO 3. Harmonisten yliaaltojännitteiden sallitut arvot. (SFS-EN 50160, 292.)

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
Kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset			
Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Yliaaltovirtoja mitattiin myös, mittausten perusteella havaittiin että ne esiintyvät suurempina kuin yliaaltojännitteet. Mittauksissa havaittiin että THD ampeerit on noin 37 prosenttia virran perusaallon suuruudesta. Viidennen virranyliaallon osuus perusaallonvirrasta oli noin 33 prosenttia. Seitsemännen yliaallon osuus oli noin 14 prosenttia ja kolmannen noin 1,5 prosenttia. Sallitut rajat ylittyvät. Kuvassa on mittarista kuvankaappaus. Kompensointilaitteistoa mitoittaessa nämä yliaaltovirrat täytyy ottaa huomioon.



KUVA 11. Mittarilla havaitut virtayliaallot.

Taulukossa on esitetty standardin mukaiset raja-arvot virtayliaalloille. Mittauskohteen referenssi virta on 315 A. Näin ollen järjestysluvultaan alle 11 yliaaltovirran osuus referenssivirrasta voi olla korkeintaan 7,0 %. Kohteen mittauksista havaitaan, että tämä arvo ylittyy.

TAULUKKO 4. Virran harmonisen kokonaissärön suositellut rajat. (Savon voima Oy)

Referenssi- virta	Sallittu raja	
≤ 25 A	Saa käyttää laitestandardien mukaisia laitteita.	
> 25A ... 200A	Virran harmoninen kokonaissärö saa olla enintään 10 % referenssivirrasta.	
> 200A	Virran harmoninen kokonaissärö saa olla enintään 8 % referenssivirrasta, mutta kuitenkin vähintään 20 A sallitaan.	
	Lisäksi yksittäisten yliaaltojen osalta:	
	järjestysluku n	sallittu arvo referenssivirrasta
	<11	7,0 %
	11-16	3,5 %
	17-22	2,5 %
	23-34	1,0 %
	>34	0,5 %

7 KOMPENSOINTILAITTEISTON MITOITUS

7.1 Tarvittavat lähtötiedot

Kompensointilaitteistoa mitoittaessa on otettava yhteyttä verkkoyhtiöön. Carunalta kerrottiin, että heidän verkostaan on poistettu verkkokäskylaitteet, jotka ennen ovat vaikuttaneet estokelapariston viritystaajuuteen. Verkkoyhtiöstä huomautettiin myös, että liittymää ei saa yli kompensoida. Tarvittavia tietoja on koottu taulukkoon. Riittävä lähtötietojen hankkiminen on tärkeää, koska ne vaikuttavat kompensointilaitteiston tyyppiin ja suuruuteen.

TAULUKKO 5. Vaadittavia lähtötietoja kompensointilaitteiston valintaan (yliaallot ja kompensointi 2006, 94.)

Vaadittavat tiedot	Kohteen tiedot
Verkkotiedot	
Verkon nimellis- ja käyttöjännite	
Tarvittava perustaajuinen loisteho (Q/kVar)	
Ympäristöolosuhteet	
Asennustila, IP-luokka ja olemassa olevat kaapeloinnit	
Vanha kompensointi	
Verkon haltijan ohjeet ja suositukset sekä tariffit	
Mahdollinen verkkokäskyohjausjärjestelmä	
Yliaaltotilanne	
Yliaaltovirrat	
Suodatusvaatimukset	
verkon oikosulkuteho	

7.2 Lämpölaitoksen kompensointi

Kompensointilaitteisto tulee sijoitettavaksi pääkeskushuoneeseen. Huoneessa on rajallisesti tilaa, joten se täytyy ottaa huomioon mitoituksessa. Kotelointiluokaksi riittää kuivan sisätilan luokitus. Pääkeskuksessa on vapaana yksi kahvasulakekenno, johon kompensoinnin syöttökaapelin voi liittää. Kompensointilaitteiston loistehonsäädin on mahdollista johdottaa mittaamaan syöttökaapelissa kulkevaa loistehoa.

Kohteessa ei ole ennestään kompensointia. Vanha kompensointi on purettu pois aikoi-
naan saneerauksen yhteydessä. Uusi kompensointilaitteisto on ajankohtainen, koska van-
han laitteiston purkamisen jälkeen kuormitukset ovat lisääntyneet. Loistehomaksua me-
nee joka kuukausi ja siitä halutaan päästä eroon.

Verkon mittauksia tehdessä huomattiin että loistehontarve on suurempi talvella kuormi-
tuksen kasvaessa. Kesällä kuormitus on taas pienempi ja kompensoinnin pienin porr-
as täytyy mitoittaa sen mukaan. Yliaaltovirrat olivat myös korkeita, joten ne täytyy ottaa
myös huomioon.

7.3 Kompensointilaitteiston valinta

Kompensointilaitteistoksi valittiin estokelaparisto. Estokelapariston valintaan päädyttiin,
koska verkossa oli yliaaltovirtoja. Valintaan vaikutti myös se, että nykyisin ei saa liittää
pelkkiä automatiikkaparistoja kompensointilaitteiksi. Estokelapariston viritystaajuudeksi
valittiin 189 Hz. Viidennen virtayliaallon taajuus on 250 Hz. Estokelaparisto ei resonoidu
eikä vahvista virtayliaaltoja viritystaajuuden jäädessä alle 250 Hz:n.

Estokelaparisto voidaan liittää vapaaseen 125A:n lähtöön. Syöttökaapelin ensimmäisen
vaiheen ympärille tulee virtamuuntaja, joka mittaa tarvittavan loistehon kompensoinnin
suuruuden. Estokelaparisto on kuusiportainen ja porraskoot ovat 7,5+12,5+2x25 kVar.
Pienin porr-
as on riittävän pieni, joten kesälläkään ei tule ylikompensointitilannetta.

7.4 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaikaa täytyy tarkastella investoinnin kannattavuuden näkökulmasta. Kun
tiedossa on vuodessa loistehoon kuluva maksu, estokelapariston investointiin kuluva ko-
konaiskustannus ja vuosikorko pääomalle, niin seuraavalla kaavalla voidaan laskea lait-
teiston takaisinmaksuaika.(Mäkihannu 2011,34.)

$$K_0 = T_1 \cdot \frac{100}{p} \cdot \left(1 - \frac{1}{\alpha^\tau}\right) \quad (4)$$

$$2500 = 700 \cdot \frac{100}{5} \cdot \left(1 - \frac{1}{1,05^\tau}\right)$$

$$\tau = 4,03$$

K_0 = kokonaiskustannus

T_1 = Kompensointilaitteistosta saatava hyöty rahallisesti vuodessa

p = korko vuodessa

τ = laitteiston takaisinmaksuaika vuosina

Edellisessä kaavassa esiintyvä α saadaan laskettua alla olevalla kaavalla.

$$\alpha = 1 + \frac{p}{100} \quad (5)$$

$$1 + \frac{5}{100}$$

$$1,05$$

Investointikuluiksi arvioidaan noin 2500€. Estokelapariston hinta tarjouksen perusteella on 1800€ (alv 0 %). Siihen lisätään virtamuuntaja, joka ei sisälly toimitukseen ja syöttökaapeli. Estokelapariston asennukseen kuluu loppusumma. Kompensointi laitteisto tuottaa noin 700€ vuodessa, kun sähkölaskusta otetaan pois loistehomaksu. Investoinnille asetettu korko on viisi prosenttia.

Takaisinmaksuajaksi muodostui noin neljä vuotta. Elikä estokelaparisto maksaa itsenä takaisin noin neljässä vuodessa ja alkaa sen jälkeen tuottamaan. Investointi on kannattava, koska laitteiston elinikä on huomattavasti korkeampi kuin takaisinmaksuaika.

8 POHDINTA

Työssä perehdyttiin erilaisiin tehoihin, kuten loistehoon, pätötehoon ja näennäistehoon. Tehot ovat sidoksissa toisiinsa. Laskelmien ja havaintojen perusteella loistehon tuottaminen kompensointiparistoilla liittymän sisällä on järkevää.

Kompensointiratkaisuja vertaillessa huomasin että nykyisin verkkoon ei saa liittää enää kiinteitä kompensointiparistoja ja automatiikkaparistoja. Estokelaparistot ovat nykyisin yleisin ratkaisu. Nykyisin verkossa esiintyy yleisesti yliaaltoja ja muita häiriöitä. Niiden kasvaessa riittävän suuriksi suositellaan käytettäväksi aktiivisuodattimia. Ne suodattavat tehokkaasti pois yliaaltoja ja muita häiriöitä.

Sähkönjakeluyhtiö perii loistehomaksua. Kohteessa, jossa olen tehnyt mittauksia, loistehomaksua on peritty talvikuukausina noin 50€-80€ kuukaudessa. Kesällä loistehomaksua on peritty noin 40€-50€ kuukaudessa. Näissä hinnoissa on huomioitu sähkönjakeluyhtiön 20 %:n ilmaisosuus. Vuodessa loistehosta tulee kustannuksia noin 700 €. Kohteena on lämpölaitos, joten kesällä kuormat ovat varsin pieniä. Kompensoinnissa täytyy olla kesäajalle tarpeeksi pieni porras, ettei tule ylikompensointia. Näillä taloudellisilla perusteilla kompensointilaitteiston hankinta on järkevä investointi.

Tulevaisuudessa sähköverkon häiriöihin täytyy todennäköisesti kiinnittää vielä enemmän huomiota. Sähköverkkoon liitetään entistä enemmän häiriötä tuottavia laitteita. Häiriöiden suodattaminen ennen niiden pääsyä verkkoon on kannattavaa.

Opinnäytetyötä tehdessä aukeni paljon laajemmin kompensoinnin mitoitusta ja siinä huomioon otettavat tekijät. Sähköverkon häiriöt ovat nyt paremmin tiedossa. Huomioin arvoista on se, että sähköverkkoyhtiöllä on monia eri käytäntöjä laskuttaa loistehosta, joten asia on hyvä tarkistaa paikalliselta sähkönjakeluyhtiöltä.

Työtä tehdessä teorian tietoa löytyi paljon internetistä ja erilaisista kirjoista. Haasteena oli alkuun pääseminen. Opinnäytetyön tekemiseen oli varattu riittävästi aikaa, kevään aikana jokaisella viikolla oli useita vapaapäiviä jotka sai käyttää opinnäytetyön tekemiseen. Työn tekemisen aloitin joulun jälkeen ja työstin sitä maaliskuun loppuun. Ohjaavalta opettajalta tuli hyviä neuvoja työn eteenpäin viemiseksi.

LÄHTEET

ABB pienjännitejärjestelmät. Yliaaltosuodatin pienjänniteverkkoon. Luettu 5.1.2016. https://library.e.abb.com/public/370bf14314cd9c8ec1257ac3003b691e/HF%20FI%20Esite%2006092012_1TFC902037N1801.pdf

ABB pienjännitejärjestelmät. Kevennä verkon kuormaa ja vältä loistehomaksut! Luettu 13.1.2016. <https://library.e.abb.com/public/ab00762519a1a8bbc2256de500332e30/Automaattinen%20kompensointiparisto%20MCA.pdf>

ABB TTT-käsikirja loistehon kompensointi ja yliaaltosuodatus. Luettu 20.12.2015. http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/09_0_Loistehon%20kompensointi%20ja%20yliaallot.pdf

Ahoranta, Lesch, Sundell. 1986. Yleisjakson sähkötekniikka.

Caruna Oy. Verkkopalveluhinnasto. Luettu 13.1.2016. https://caruna-cms-prod.s3-eu-west-1.amazonaws.com/web_650304_caruna_fss_verkkopalveluhinnasto_6s_2015_fi6.pdf?qbRakVIL_ielbf6mjEJEuAVDMarkw8pp

Falico Oy. Estokelaparistot. Luettu 10.1.2016. <http://falico.fi/sivut/tuotteet/estokelaparistot/>

Imatran seudun sähkönsiirto. Lämpöpumput sähköverkossa. Luettu 19.1.2016. <http://www.isssoy.fi/imatran-seudun-sahkonsiirto-oy/sahkoliittymat/lampopumput-sahkoverkossa>

Jaakko Viitala, Jyväskylän ammattikorkeakoulu. 2006. St-kortisto 52.51.03 Sähkön laatu. Harmoniset yliaallot. Laadittu 15.5.2006.

Jaakko Viitala, Jyväskylän ammattikorkeakoulu. 2006. St-kortisto 52.51.04. Sähkön laatu. Vinokuormitus, nollajohdin ja transienttiylijännitteet. Laadittu 15.5.2006.

Jani Lavi, Etteplan Design Center Oy. 2014. St-kortisto 52.15 Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. Laadittu 15.9.2014.

Jani Lavi, Etteplan Design Center Oy. 2014. St-kortisto 52.16 Yliaaltosuodatinlaitteet ja niiden sijoitus alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. Laadittu 15.12.2014.

Korpinen, Mikkola, Keikko, Falck. 2008. Yliaalto-opus. <http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/yliaalto-opus.pdf>

Markku J.J. Mäkinen, Raimo Kallio. Teollisuuden sähköasennukset 1. painos. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy 2004.

Mäkihannu, T. 2011. Porraselementtitehtaan pääkeskuksen suunnittelu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Männistö, Hietalahti, Seesvuori, Seesvuori, Wilen. Yliaallot ja kompensointi. Tampere: Tammer-paino Oy 2006.

Nokia capacitors. Pienjännitetuotteiden tuoteopas.

SFS-käsikirja 600-2 1. painos. Suomen standardoimisliitto SFS RY.

Tampereen kondensaattoritehdas. Estokelaparistot. Luettu 13.1.2016.

<http://www.tkf.fi/estokelaparistot.php>

Tampereen sähkölaitos. Loistehon kompensointi. Luettu 23.3.2016.

https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/sahkoverkkoonliittymien/TSV-urakoitsijalle/Documents/Loistehon%20hinnoittelu-%20ja%20kompensointiohje%20TSV_01-12-2012_internet.pdf

Virtuaali ammattikorkeakoulu. Luettu 13.1.2016.

<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/030503/1134045922435/1134046524532/1134047263593/1134047404815.html>